

СОВРЕМЕННЫЕ КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИНФРАСТРУКТУРА ДЛЯ ЭФФЕКТИВНЫХ ИТС В УСТОЙЧИВЫХ УМНЫХ ГОРОДАХ

Ньян Лин Хтет

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Лапцевич А.А.– доцент (научн.рук.)

В данной статье рассматривается роль интеллектуальных транспортных систем (ИТС) в экосистеме умного города. Основное внимание уделено технологиям обмена данными V2X (Vehicle-to-Everything) и внедрению интеллектуальных светофоров (ITL). Анализируется, как интеграция 5G, Интернета вещей (IoT) и краевых вычислений (Edge Computing) способствует снижению заторов, повышению безопасности дорожного движения и минимизации выбросов CO₂, обеспечивая устойчивое развитие городской среды.

Интеллектуальные транспортные системы (ИТС) и технологии V2X

В условиях урбанизации переход к ИТС на базе концепции IoV (Интернет транспортных средств) становится стратегической необходимостью. ИТС интегрирует ИКТ в инфраструктуру, создавая «умную» среду для оптимизации трафика.

Основой ИТС являются сети VANET, обеспечивающие взаимодействие через технологию V2X:

- V2V (Vehicle-to-Vehicle): Прямой обмен данными между авто для предотвращения столкновений.
- V2I (Vehicle-to-Infrastructure): Связь с дорожными объектами (RSU) для управления трафиком в реальном времени.
- V2P (Vehicle-to-Pedestrian): Оповещение пешеходов и водителей для безопасности на перекрестках.
- V2N/V2C (Vehicle-to-Network/Cloud): Облачные сервисы для навигации и анализа больших данных.

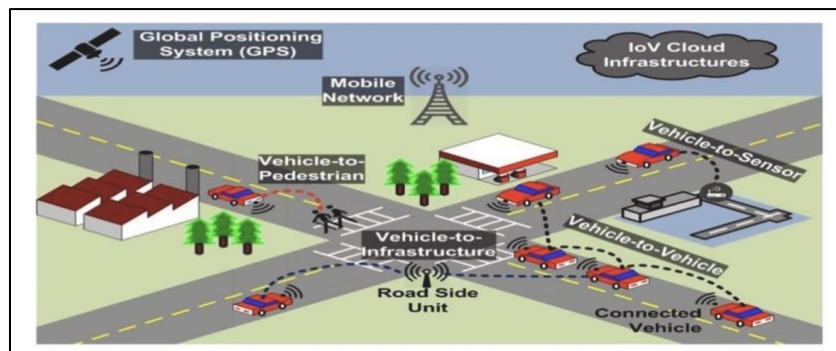


Рис.1.Связь между транспортными средствами в «умных» городах

Развитие «умных городов» и интеллектуальных транспортных систем (ИТС) критически зависит от надежных технологий связи, которые позволяют эффективно решать проблемы урбанизации: транспортные заторы, загрязнение среды и чрезмерное энергопотребление. Путем интеграции различных датчиков и систем осуществляется сбор и анализ данных в реальном времени, что оптимизирует транспортные потоки и значительно повышает безопасность дорожного движения. В современных реалиях ключевую роль в функционировании ИТС играют такие передовые стандарты и протоколы передачи данных, как IEEE, C-V2X, LoRaWAN и 5G.

1. Технологические стандарты IEEE в инфраструктуре ИТС

Эффективность интеллектуальных транспортных систем (ИТС) обеспечивается соблюдением международных стандартов IEEE. Фундаментом автомобильных сетей (VANET) является протокол IEEE 802.11p (WAVE), работающий на частоте 5,9 ГГц и оптимизированный для условий высокой мобильности со скоростью передачи до 27 Мбит/с. Архитектура дополняется семейством стандартов IEEE 1609: стандарт 1609.2 отвечает за

кибербезопасность через шифрование и аутентификацию, а 1609.1 и 1609.3 регулируют ресурсы и маршрутизацию для обеспечения взаимодействия V2V и V2I через каналы DSRC или C-V2X. Дополнительно используются IEEE 802.15.4 для мониторинга через маломощные сенсорные сети и IEEE 802.22 для связи в труднодоступных районах. Интеграция этих протоколов формирует масштабируемую среду для автономного транспорта в масштабах умного города.

2. Технология сотовой связи C-V2X в инфраструктуре ИТС

Внедрение протокола C-V2X (Cellular Vehicle-to-Everything) обеспечивает масштабируемое взаимодействие в ИТС, используя существующую инфраструктуру LTE и 5G. В отличие от DSRC, C-V2X поддерживает интерфейс PC5 (sidelink) в диапазоне 5,9 ГГц, что гарантирует прямую связь с минимальной задержкой даже без сигнала базовой станции, позволяя реализовать критические сервисы безопасности и приоритизацию экстренных служб. Интеграция с краевыми вычислениями (MEC) обеспечивает ультранизкую задержку при обработке данных с камер и радаров непосредственно на периферии сети. Использование интерфейса PC5 для передачи данных о фазах светофоров (SPaT) и контроллеров трафика (TSC) оптимизирует движение в реальном времени. Синергия C-V2X и 5G формирует отказоустойчивую среду, превосходящую традиционные системы по пропускной способности и поддержке автономного вождения. Взаимодействие между транспортными средствами и RSU наглядно представлено на рис. 2.

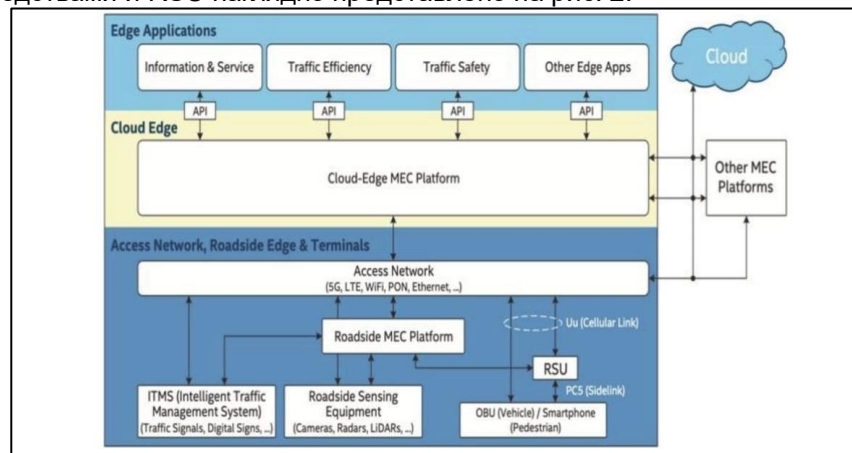


Рис.2. Внедрение сервисов C-V2X на платформах MEC

3. Энергоэффективная технология LoRaWAN в инфраструктуре ИТС

Технология LoRaWAN является ключевым элементом ИТС благодаря сверхнизкому энергопотреблению и большой дальности передачи данных. Она оптимальна для мониторинга трафика и состояния дорог на обширных территориях, а также для систем «умной парковки», где маломощные датчики в реальном времени передают данные о занятости мест, снижая заторы. Высокая масштабируемость позволяет обслуживать тысячи устройств, а безопасность гарантируется 128-битным шифрованием AES. Главным преимуществом LoRaWAN остается энергоэффективность: длительный срок службы батарей (до нескольких лет) минимизирует эксплуатационные расходы, что делает технологию незаменимой для долгосрочных проектов «Умного города».

4. Роль технологии 5G и инновационных методов управления трафиком в ИТС

Внедрение 5G является ключевым фактором для ИТС, обеспечивая высокоскоростную связь с ультранизкой задержкой для обмена данными и видеомониторинга в реальном времени. Это позволяет реализовать инновационный сервис «платунинг» (platooning), где колонна транспортных средств функционирует как единая экосистема под управлением ведущего авто, что автоматизирует движение и повышает пропускную способность дорог. Для стабильности сети при большом количестве узлов применяется стратегия кластеризации. Эти кластеры представляют собой совокупность транспортных средств, способных взаимодействовать друг с другом и находящихся в непосредственной близости друг от друга, как показано на рис 3. Иерархический подход с выделением «голов кластера» предотвращает перегрузку сети и ускоряет доставку критически важной информации. Гибкое использование частотного спектра 5G придорожными блоками (RSU) обеспечивает бесшовную интеграцию транспорта, инфраструктуры и облачных платформ, создавая фундамент для безопасных и устойчивых умных городов.

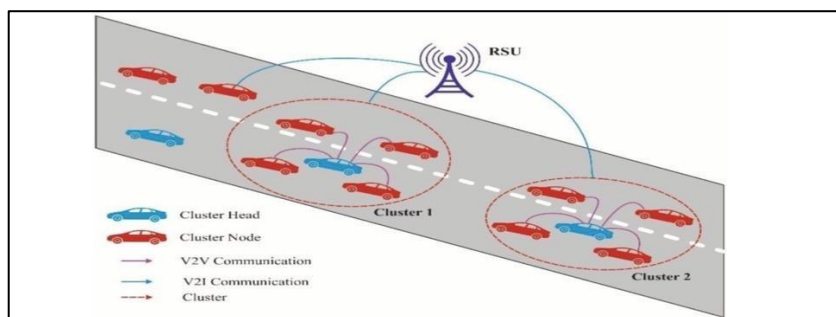


Рис.3.Разделение кластеров

Выводы

В ходе исследования было установлено, что интеграция современных стандартов связи, таких как IEEE 802.11p, C-V2X, LoRaWAN и 5G, является ключевым условием для функционирования эффективных ИТС. Технология V2X обеспечивает необходимый уровень взаимодействия для повышения безопасности дорожного движения, а использование инновационных методов, таких как MEC и кластеризация, позволяет минимизировать задержки передачи данных. Таким образом, синергия этих технологий способствует созданию устойчивой и безопасной городской среды, снижая экологическую нагрузку и оптимизируя транспортные потоки.

Список использованных источников

1. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128034545000080>.
2. https://www.jhc-technology.com/pdf/21573/Intel_JHCTECH_MEC_solution.pdf
3. F. Al-Turjman, J.P. Lemayian *Intelligence, security, and vehicular sensor networks in Internet of Things (IoT)-enabled smart-cities*.
4. *Сети 5G обеспечивают цифровую трансформацию умных городов и интеллектуальных транспортных систем.* <https://www.intel.com/content/dam/www/central-libraries/us/en/documents/5g-networks-smart-cities-and-transportation-ebook.pdf>.
5. H.A. Khattak, H. Farman, B. Jan, I.U. Din *Toward integrating vehicular clouds with IoT for smart city services*.